

III-V NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

JP10-093137

Publication number: JP10093137

Publication date: 1998-04-10

Inventor: RUDAZ SERGE L

Applicant: HEWLETT PACKARD CO

Classification:

- international: H01L33/00; H01S5/323; H01S5/30; H01S5/32; H01L33/00;
H01S5/00; (IPC1-7): H01L33/00

- European: H01L33/00C4D4B; H01L33/00G3B2; H01S5/323B4

Application number: JP19970236876 19970902

Priority number(s): US19960709355 19960906

Also published as:



US5729029 (A1)

GB2317053 (A)

DE19725578 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP10093137

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve carrier implantation and pair-recombination by adjusting the composition and thickness related to each sub-layer to minimize cracks in a material and making a thickness of a corresponding sub-layer thinner as doping amount of a sub-layer increases. SOLUTION: A small amount of doping is applied to a first sub-layer 16A for avoiding cracks and formed into a thickness which is desirable for good material quality. Its doping level is $N_d = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, and the related thickness is $3.5 \mu\text{m}$. A large amount of doping is applied to a second sub-layer 16B for obtaining a good N contact forward voltage and electric resistance characteristic. A doping level is $N_d = 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, and a related thickness is $0.4 \mu\text{m}$. A third sub-layer 16C is doped to a desired level for obtaining an optimum carrier implantation and pair-recombination. N-contact electric resistance, implantation of a small amount of carrier and recombination characteristic can be improved without generating cracks.

10

22	最終デバイス レー
20	P タイプ レー
18	絶縁層
16C	N タイプ・サブレイヤ #3
16B	N タイプ・サブレイヤ #2
16A	N タイプ・サブレイヤ #1
14	AlGaInN 層
12	サブリミナル基板

二重入力
構造N タイプ
化合物
レー

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The device and the (a) substrate which are characterized by including (a) and (b) below, (b) It is the compound device layer of $y\text{In}1-y\text{N}$ arranged on a substrate ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$). This compound device layer The related presentation chosen according to the physical characteristic to which the 1st and 2nd sub layer is included, and each sub layer corresponds, The thickness of said corresponding sub layer becomes thin, so that it has thickness and doping level, the presentation and thickness relevant to each of said sub layer are carefully adjusted so that the crack of an ingredient may be suppressed to the minimum, and doping of said sub layer increases.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to manufacture of the device of the gallium nitride base. As this invention does not receive the crack of an ingredient, it especially aims at the improvement of the light extracted from the luminescence device of the gallium nitride base by an electrical property and the list.

[0002]

[Description of the Prior Art] The compound of the gallium nitride (GaN) base emits light on the green of the light, the range of blue, and the wavelength of a near ultraviolet ray. Since it is difficult for the gallium nitride of a single crystal to make it grow up, the commercial GaN substrate for carrying out epitaxial growth of the device of the GaN base cannot come to hand. Now, epitaxial growth of the luminescence device (LED) of a great portion of GaN base is carried out on silicon on sapphire. It becomes difficult for a difference of the lattice constant between silicon on sapphire and the semiconductor of the GaN base and coefficient of thermal expansion to grow up the epitaxial layer of the high quality GaN base into silicon on sapphire. Furthermore, it is almost impossible to obtain a GaN semiconductor high P type [conductive] because of the combination of an N type high background concentration level and P type low doping activity. Although the concept of a fundamental heterojunction device fully came to be understood over during many years Because of these difficulties, it is a $y\text{In}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{N}$ (here, it is $0 \leq x \leq 1$ and $0 \leq y \leq 1$) ingredient system (these are known as AlGaInN until now.). Development of the green or heterojunction laser with the sufficient effectiveness which emits a blue light and LED which were used has been barred.

[0003] When the importance of a researcher growing up GaN or an AlN buffer layer at low temperature at the anaphase of the 1980s was discovered, LED of the GaN base where effectiveness is high became what has possibility. If a buffer layer is grown up into a sapphire layer at low temperature, the gestalt of the AlGaInN layer grown up succeedingly will be improved, and N type background concentration level of an AlGaInN ingredient will fall. The conductive P type GaN growth for activating P type dopant became easy by connecting heat annealing after growth, or a low energy electron beam exposure to this. By advance of such a technique, the progress condition of the device development of the AlGaInN ingredient system for optoelectronics and other applications was accelerated sharply.

[0004] Although growth of the good AlGaInN device on substrates other than sapphire was attained by the latest advance, these substrates are not necessarily marketed widely yet. New buffer ingredient systems other than AlGaInN (zinc oxide ZnO) are also used. It came to be used as a substrate for growing up a thick AlGaInN single crystal and growing up an AlGaInN device after that on silicon and the wafer of sapphire, by HVPE (hydride gaseous phase epitaxial law). Silicon carbide (SiC), ZnO, bulk GaN, and various garnets were also used, and a success is dedicated. Rather than sapphire, since lattice matching of these substrates is far carried out well to GaN, although a good device layer is obtained, they may not need a reserve buffer layer. However, aside from whether a buffer layer is used in all cases, according to the desired device property (it is (like the color of the light emitted)), between a substrate and an AlGaInN device layer, the difference of a large lattice constant exists too. This arises for the lattice constant (they being the electrical and electric equipment and an optical property to a list) of a $y\text{In}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{N}$ layer changing with the molecular proportion of x and y. The problem of the quality of an ingredient will be faced like the case of the growth on sapphire as a result.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Generally, if a buffer layer is grown up on a substrate, it will become possible to grow up a device layer good N type and P type. However, if the thickness of the layer to which a lot of doping was performed exceeds several micrometers (micrometer) when N doping of an AlGaInN device layer increases and it exceeds measurement result $2\text{E}18\text{cm}^{-3}$ by the hall effect (for example, GaN layer which doped Si within LED), since grid mismatching with a substrate and the difference of coefficient of thermal expansion will become large, there are some device layers which show a severe crack. using a film, when the device of the advanced technology needs a lot of doping - moreover, when a thick layer is needed, a crack is suppressed by reducing the amount of doping to the minimum. The thickness of a layer becomes thin in order to prevent a crack, if the amount of doping of a device layer increases. However, in order to maintain the quality of an ingredient, the 1st thick device layer (generally 3-4 micrometers) is needed, and on the other hand, if there are many amounts of doping, N contact resistance in N dope layer, forward voltage, and a bulk resistor will fall, and it will become possible electric and to raise [of a device] the optical engine performance. The crack of an ingredient will have remarkable effect on the engine performance of a device, and will spoil dependability.

[0006] It is the description very desirable for optimization of an electrical property (for example, forward voltage and series resistance) that the ingredient of LED is good to the increase of the amount of N type doping and coincidence in one or more device layers of LED.

[0007] It is still more useful, if doping can be optimized so that carrier injection and opposite recombination may be improved since the power efficiency of light is raised.

[0008]

[Means for Solving the Problem] Without causing the crack of a device layer, N type doping in the compound of an III-V group nitride semiconducting compound, i.e., GaN, AlGaIn, AlInN, InGaIn, or the GaN base like AlGaInN can be optimized so that N contact electricity resistance, a turn-on and forward voltage, minority carrier impregnation, and a recombination property may be improved. This is realized by manufacturing a compound device layer equipped with some sub layers N type. A dope sub layer corresponding N type is prepared for every desired electrical property or special feature.

Corresponding thickness becomes thin, so that the crack of an ingredient may be avoided, it is chosen carefully and the amount of doping of thickness of each sub layer needed increases.

[0009] In the case of the luminescence device (LED), the N type compound device layer is equipped with three sub layers. The doping level of each sub layer is chosen so that the selected physical property may be optimized. Doping is not performed, or little doping is performed and the 1st sub layer is grown up to desirable thickness for the quality of a good ingredient in order to avoid a crack. A lot of doping is performed and the 2nd sub layer is maintained at thinness required to avoid the crack of suitable **** and an ingredient so that good N contact, forward voltage, and an electric resistance property may be acquired. Although the 3rd sub layer is doped to desired level so that the optimal carrier injection and opposite recombination in a barrier layer of a device may be obtained, generally, the doping is more nearly little than the 2nd sub layer, and, in a request, can increase suitable **** and its thickness.

[0010]

[Example] N type LED10 of this invention is shown in drawing 1. (Al_xGa_{1-x}) The yIn_{1-y}N buffer layer 14 is arranged on a substrate 12 like silicon on sapphire. The compound device layer 16 of N type AlGaInN is arranged in piles at the AlGaInN buffer layer 14. Duplex hetero structure is formed from the single of device sub layer 16C, the barrier layer 18 grown up on the compound device layer 16, and the compound semiconductor of AlGaInN, or the compound P type layer 20.

[0011] The compound device layer 16 is equipped with three sub layers 16A, 16B, and 16C of an AlGaInN ingredient like GaN:Si which carried out N dope. Each sub layer has the doping level of a proper. In order to avoid a crack, little doping is performed, and 1st sub layer 16A is grown up to desirable thickness for the quality of a good ingredient. Doping level of 1st sub layer 16A can be referred to as Nd=2E18cm⁻³ (measurement result by the hall effect), and related thickness can be referred to as 3.5 micrometers. As for 2nd sub layer 16B, a lot of doping is performed so that good N contact forward voltage and an electric resistance property may be acquired. Doping level of 2nd sub layer 16B can be referred to as Nd=8E18cm⁻³ (measurement result by the hall effect), and since related thickness avoids a crack, it can be kept at 0.4 micrometers or less. As for 3rd sub layer 16C of an option, doping is performed to desired level so that the optimal carrier injection and opposite recombination may be obtained in the barrier layer 18 of a device. Doping level of 3rd sub layer 16C can be referred to as Nd=2E18cm⁻³ (measurement result by the hall effect). According to the 3rd sub layer, in blue, a green light emitting diode (LED), and a duplex hetero structure luminescence device like laser (edge luminescence laser and perpendicular resonance mold face luminescence laser), it becomes possible to carry out doping control separately so that the optimal current impregnation and recombination may be obtained.

[0012] The process flow chart 30 about the device shown in drawing 1 is shown in drawing 2. In step 40, a buffer layer is directly formed on silicon on sapphire. In step 50, although the 1st N type device sub layer is directly formed on a buffer layer at the growth temperature of the range of 300C-1500C, the thickness of the 1st sub layer may be changed among 1.0 micrometers - 300 micrometers. Although the 2nd sub layer is formed on the 1st sub layer at equivalent growth temperature in step 60 Generally the thickness of the 2nd sub layer is 0.05 micrometers - 1.0 micrometers. N type doping level Nd=8E18cm⁻³ are exceeded (measurement result by the hall effect), doping level is chosen so that the electrical property of a device may be optimized, and a sub layer becomes thin, so that it is kept thin enough and its amount of doping of a sub layer increases, in order that thickness may avoid a crack. In step 70, it is formed on the 2nd sub layer so that the 3rd sub layer of an option may become the selected doping level and thickness. Doping level and thickness are chosen so that current impregnation and optical recombination may be improved. In step 80, the remaining device layers are formed on a combinational-device layer at the growth temperature of the range of 300C-1500C.

[0013] As for a sub layer, it is possible to make it grow up using one of much the available technique, such as OMVPE, (for this to also be called MOCVD (metal organic chemistry vacuum deposition)), MBE (molecular beam epitaxy), GSMBE (gas source MBE), or HVPE (hydride gaseous phase epitaxial law). (Al_xGa_{1-x}) If a yIn_{1-y}N sub layer may have the same chemical composition, it may not be the same (namely, x [same] and y molecular proportion). If it may change rapidly between sub layers, a presentation and/or doping level of a sub layer may change gradually instead covering the whole thickness of a sub layer, if it may change gradually quietly covering finite thickness.

[0014] Like instantiation, although a compound layer equipped with three sub layers N type improves N electric contact resistance, forward voltage, current impregnation, and a radiative recombination, without causing the crack of a device layer, it is possible also for a presentation, thickness, and doping level of each class adding an additional N type sub layer so that it may be adapted for the electrical property or physical property of the request for this device. Compound structure can be extended so that the crack problem produced one by one in the layer to which the layer or P doping to which N doping was performed at other large quantities in a semiconductor device was performed further may be mitigated.

[0015] As mentioned above, although the example of this invention was explained in full detail, the example of each embodiment of this invention is shown hereafter.

[0016] The device and the (a) substrate (12) which are characterized by including (a) and (b) below, (Embodiment 1) (b) It is the compound device layer (16) of yIn_{1-y}N arranged on a substrate (Al_xGa_{1-x}). This compound device layer (16) The

related presentation chosen according to the physical characteristic to which the 1st and 2nd sub layer (16A, 16B) is included, and each sub layer corresponds. The thickness of said corresponding sub layer becomes thin, so that it has thickness and doping level, the presentation and thickness relevant to each of said sub layer are carefully adjusted so that the crack of an ingredient may be suppressed to the minimum, and doping of said sub layer increases.

[0017] (Embodiment 2) A device given in the embodiment 1 characterized by containing further the buffer layer (14) which intervenes between said substrate and said compound device layer.

[0018] The 3rd sub layer (16C) which is further equipped with the doping level relevant to said compound device layer, and is arranged on said 2nd sub layer is contained, (Embodiment 3) A device given in the embodiment 2 characterized by choosing said related doping level of said 3rd sub layer so that the physical property of the optimal carrier injection for luminescence and opposite recombination may be brought about in a barrier layer.

[0019] (Embodiment 4) A device given in the embodiment 1 characterized by choosing said related doping level of said 1st sub layer (16A) so that the physical characteristic of the good quality of an ingredient may be brought about, and choosing said related doping level of said 2nd sub layer so that the physical characteristic of low electrical resistivity and low device forward voltage may be brought about.

[0020] (Embodiment 5) A device given in the embodiment 4 to which said related doping level of said 2nd sub layer (16B) is characterized by performing a lot of doping compared with said related doping level of said 1st sub layer.

[0021] (Embodiment 6) A device given in the embodiment 5 characterized by performing doping which changes gradually from said 1st sub layer to said 2nd sub layer in said compound device layer (16).

[0022] (Embodiment 7) A device given in the embodiment 6 to which the presentation of said compound device layer (16) is characterized by changing gradually from said 1st sub layer to said 2nd sub layer.

[0023] (Embodiment 8) A device given in the embodiment 5 to which the presentation of said compound device layer (16) is characterized by changing gradually from said 1st sub layer to said 2nd sub layer.

[0024] (Embodiment 9) A device given in the embodiment 5 to which said related doping level ratio of said 1st sub layer and said 2nd sub layer is characterized by being between 1-100,000.

[0025] The 3rd sub layer (16C) which is equipped with the doping level relevant to said compound device layer (16), and is further arranged on said 2nd sub layer is contained, (Embodiment 10) A device given in the embodiment 4 characterized by choosing the doping level to which said 3rd sub layer relates so that the physical property of the optimal carrier injection for luminescence and opposite recombination may be brought about in a barrier layer.

[0026] (Embodiment 11) A device given in the embodiment 1 to which said compound device layer (16) is characterized by consisting of P type $y\text{In}(\text{Al}_x\text{Ga } 1-x)_1-y\text{N}$ ingredients.

[0027] (Embodiment 12) A device given in the embodiment 1 to which said compound device layer (16) is characterized by consisting of N type $y\text{In}(\text{Al}_x\text{Ga } 1-x)_1-y\text{N}$ ingredients.

[0028] (Embodiment 13) A device given in the embodiment 12 characterized by choosing said related doping level of said 1st sub layer (16A) so that the physical characteristic of the good quality of an ingredient may be brought about, and choosing said related doping level of said 2nd sub layer so that the physical characteristic of low electrical resistivity and low device forward voltage may be brought about.

[0029] (Embodiment 14) A device given in the embodiment 13 characterized by performing a lot of doping compared with said related doping level of said 1st sub layer in said related doping level of said 2nd sub layer (16B).

[0030] (Embodiment 15) A device given in the embodiment 14 characterized by performing doping which changes gradually from said 1st sub layer (16A) to said 2nd sub layer (16B) in said compound device layer.

[0031] (Embodiment 16) A device given in the embodiment 14 to which the presentation of said compound device layer is characterized by changing gradually from said 1st sub layer (16A) to said 2nd sub layer (16B).

[0032] (Embodiment 17) A device given in the embodiment 13 to which said related doping level ratio of said 1st sub layer (16A) and said 2nd sub layer (16B) is characterized by being from 1 to 100,000.

[0033] The 3rd sub layer (16C) which is equipped with the doping level relevant to said compound device layer (16), and is further arranged on said 2nd sub layer (16B) is contained, (Embodiment 18) A device given in the embodiment 13 characterized by choosing said related doping level of said 3rd sub layer (16C) so that the physical property of the optimal carrier injection for luminescence and opposite recombination may be brought about in a barrier layer.

[0034] (Embodiment 19) A device given in the embodiment 18 characterized by performing a lot of doping compared with said related doping level of the 1st sub layer (16A) in said related doping level of said 2nd sub layer (16B).

[0035] (Embodiment 20) A device given in the embodiment 19 characterized by containing further the buffer layer (14) which intervenes between said substrate (12) and said compound device layer (16).

[0036] (Embodiment 21) A device given in the embodiment 20 to which the ratio of said related doping level of said 1st sub layer (16A) and said 2nd sub layer (16B) is characterized by being from 1 to 100,000.

[Translation done.]

* NOTICES *

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] N type compound layer is drawing showing the device of this invention grown up first.

[Drawing 2] It is the flow chart of the manufacture process about the device shown in drawing 1 .

[Description of Notations]

12: Substrate
14: N type buffer layer
16: Compound device layer
16A: Sub layer
16B: Sub layer
16C: Sub layer
18 Barrier Layer
20 P Type Compound Semiconductor Layer

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-93137

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁸

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-236876

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月2日

(31) 優先権主張番号 7 0 9, 3 5 5

(32) 優先日 1996年9月6日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 590000400

ヒューレット・パッカード・カンパニー
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
ト ハノーバー・ストリート 3000

(72) 発明者 セルジュ・エル・ラダズ

アメリカ合衆国カリフォルニア州サニーベ
イル サンセット・アベニュー 382

(74) 代理人 弁理士 上野 英夫

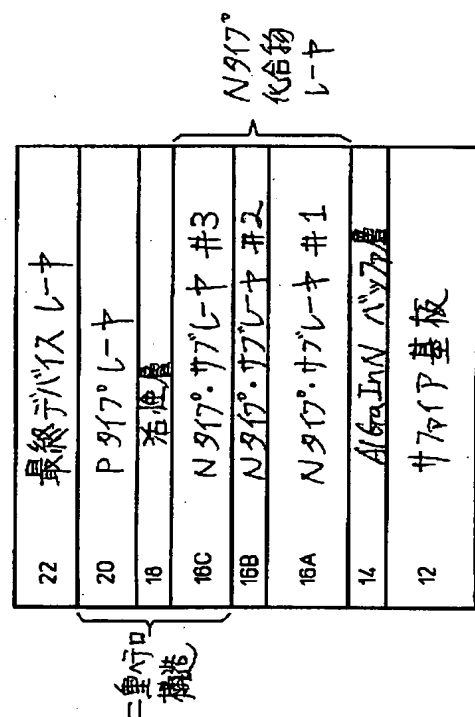
(54) 【発明の名称】 I I I - V 族窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】青色系発光素子の製造において、窒化ガリウム (Ga N) ベースの化合物をサファイア基板上にバッファ層を入れてエピタキシャル成長させる。しかし基板と AlGaInN デバイス層との間には、やはり大幅な格子定数の差が存在しデバイス層の中に亀裂が生じることがある。

【解決手段】いくつかのサブ・レーヤを備えた N タイプの化合物デバイス層を製造することによって実現する。所望の各電気特性または特質毎に対応する N タイプのドーパサブ・レーヤが設けられる。各サブ・レーヤの厚さは材料の亀裂を回避するように慎重に選択され、必要とされるドーピング量が増すほど対応する厚さは薄くする。

20



【特許請求の範囲】

【請求項1】以下(a)および(b)を含むことを特徴とするデバイス、(a)基板と、(b)基板上に配置される $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ の化合物デバイス層であって、該化合物デバイス層は、第1と第2のサブ・レーヤを含んでおり、各サブ・レーヤは対応する物理的特性に合わせて選択された関連する組成、厚さ、及び、ドーピング・レベルを有しており、

前記サブ・レーヤのそれぞれに関連した組成及び厚さは、材料の亀裂を最小限に抑えるように念入りに調整されていて、前記サブ・レーヤのドーピングが増すほど、対応する前記サブ・レーヤの厚さが薄くなる。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、窒化ガリウム・ベースのデバイスの製造に関するものである。とりわけ、本発明は、材料の亀裂を被らないようにして、電気特性、並びに、窒化ガリウム・ベースの発光デバイスから抽出される光の改善を目指すものである。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム(GaN)ベースの化合物は、可視光の緑と青の範囲、及び、近紫外線の波長で発光する。単結晶の窒化ガリウムは成長させるのが困難なので、GaNベースのデバイスをエピタキシャル成長させるための、市販のGaN基板を入手することはできない。現在のところ、大部分のGaNベースの発光デバイス(LED)は、サファイア基板上にエピタキシャル成長させられている。サファイア基板とGaNベースの半導体との間における格子定数及び熱膨張率の相違のため、サファイア基板に質の高いGaNベースのエピタキシャル層を成長させるのは困難になる。さらに、Nタイプの高バックグラウンド濃度とPタイプの低ドーピング活性度の組み合わせのため、伝導性の高いPタイプのGaN半導体を得るのはほぼ不可能である。基本的なヘテロ接合デバイスの概念は、長年の間に渡って十分に理解されるようになったが、これらの難点のために、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ (ここで、 $0 \leq x \leq 1$ 及び $0 \leq y \leq 1$) 材料系(これらはこれまでAlGaInNとして既知である。)を利用した、緑または青の光を放出する効率の良いヘテロ接合レーザ及びLEDの開発が妨げられてきた。

【0003】1980年代後期に、研究者が低温でGaNまたはAlNバッファ層を成長させることの重要性を発見した時、効率の高いGaNベースのLEDは、可能性を有するものになった。サファイア層にバッファ層を低温で成長させると、引き続き成長させるAlGaInN層の形態が改善され、AlGaInN材料のNタイプ・バックグラウンド濃度が低下する。これと、成長後の熱アニーリングまたは低エネルギー電子ビーム照射が結びつけられることによって、Pタイプ・ドーパントを活

性化させるための導電性PタイプGaNの成長が容易になった。こうした技術の進歩によって、オプトエレクトロニクス及び他の用途のためのAlGaInN材料系のデバイス開発の進み具合が大幅に加速された。

【0004】最近の進歩によって、サファイア以外の基板上における良好なAlGaInNデバイスの成長が可能になったが、これらの基板は、まだ広く市販されているわけではない。AlGaInN以外の新たなバッファ材料系(酸化亜鉛ZnO)も利用されるようになっていく。HVPE(水素化物気相エピタキシャル法)によって、シリコン及びサファイアのウェーハ上に厚いAlGaInN単結晶を成長させて、その後、AlGaInNデバイスを成長させるための基板として利用されるようになった。炭化珪素(SiC)、ZnO、バルクGaN、及び、各種ガーネットも利用され、成功を納めている。これらの基板は、サファイアよりも、GaNに対してはるかにうまく格子整合するので、良質のデバイス層を得るのに、予備バッファ層を必要としない場合もあり得る。しかし、あらゆる場合において、バッファ層が用いられるか否かはともかく、所望のデバイス特性(放出される光のカラーのような)によれば、基板とAlGaInNデバイス層との間には、やはり、大幅な格子定数の差が存在する。これが生じるのは、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 層の格子定数(並びに電気及び光学特性)がx及びyの分子比によって変化するためである。結果として、サファイア上における成長の場合と同様に、材料の質の問題に直面することになる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】一般に、基板上にバッファ層を成長させると、良質なNタイプ及びPタイプのデバイス層を成長させることが可能になる。しかし、AlGaInNデバイス層のNドーピングが増大し、ホール効果による測定結果 $2E18cm^{-3}$ を超える場合(例えば、LED内でSiをドーブしたGaN層)、多量のドーピングが施された層の厚さが数マイクロメートル(μm)を超えると、基板との格子不整合及び熱膨張率の差が大きくなるので、デバイス層の中にはひどい亀裂を示すものがある。先行技術のデバイスは、多量のドーピングが必要な場合には薄い層を利用することによって、また、厚い層が必要になる場合にはドーピング量を減らすことによって、亀裂を最小限に抑える。デバイス層のドーピング量が増すと、亀裂を防ぐため、層の厚さは薄くなる。しかし、材料の質を維持するためには、厚い第1のデバイス層(一般に $3 \sim 4 \mu m$)が必要になり、一方、ドーピング量が多いと、Nドーピング層内におけるN接触抵抗、順電圧、及び、バルク抵抗が低下して、デバイスの電氣的及び光学的性能を高めることが可能になる。材料の亀裂は、デバイスの性能にかなりの影響を与え、信頼性を損なうことになる。

【0006】LEDの1つ以上のデバイス層においてN

タイプのドーピング量が増し、同時に、LEDの材料が良質であることは、電気特性（例えば、順電圧及び直列抵抗）の最適化にとって極めて望ましい特徴である。

【0007】光の出力効率を高めるため、キャリア注入及び対再結合が改善されるように、ドーピングを最適化することができれば、さらに有益である。

【0008】

【課題を解決するための手段】III-V族窒化物半導体化合物、すなわち、GaN、AlGaInN、AlInN、InGaInN、または、AlGaInNのようなGaNベースの化合物におけるNタイプ・ドーピングは、デバイス層の亀裂を引き起こすことなく、N接触電気抵抗、ターン・オン及び順電圧、少数キャリア注入、及び、再結合特性を改善するように最適化することが可能である。これは、いくつかのサブ・レーヤを備えたNタイプの化合物デバイス層を製造することによって実現する。所望の各電気特性または特質毎に、対応するNタイプのドーパサブ・レーヤが設けられる。各サブ・レーヤの厚さは、材料の亀裂を回避するように慎重に選択され、必要とされるドーピング量が増すほど、対応する厚さは薄くなる。

【0009】発光デバイス(LED)の場合、Nタイプの化合物デバイス層は、3つのサブ・レーヤを備えている。各サブ・レーヤのドーピング・レベルは、選択された物理特性を最適化するように選択されている。第1のサブ・レーヤは、亀裂を回避するため、ドーピングが施されないか、あるいは、少量のドーピングが施され、良好な材料の質にとって望ましい厚さまで成長させられる。第2のサブ・レーヤは、良好なN接触、順電圧、及び、電気抵抗特性が得られるように、多量のドーピングが施され、相応じて、材料の亀裂を回避するのに必要な薄さに保たれる。第3のサブ・レーヤは、デバイスの活性層における最適なキャリア注入及び対再結合が得られるように、所望のレベルまでドーパされるが、そのドーピングは、一般に、第2のサブ・レーヤよりも少量であり、所望の場合には、相応じて、その厚さを増すことが可能である。

【0010】

【実施例】図1には、本発明のNタイプのLED10が示されている。(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}Nバッファ層14が、サファイア基板のような基板12上に配置される。AlGaInNバッファ層14に重ねて、NタイプのAlGaInNの化合物デバイス層16が配置される。二重ヘテロ構造が、デバイスサブ・レーヤ16Cと、化合物デバイス層16の上に成長させられた、活性層18、及び、AlGaInNの化合物半導体の単一または複合Pタイプ層20から形成される。

【0011】化合物デバイス層16は、GaN:SiのようなNドーパしたAlGaInN材料の3つのサブ・レーヤ16A、16B、及び、16Cを備えている。各

サブ・レーヤは固有のドーピング・レベルを有している。第1のサブ・レーヤ16Aは、亀裂を回避するため少量のドーピングが施され、良好な材料の質にとって望ましい厚さまで成長させられる。第1のサブ・レーヤ16Aのドーピング・レベルは、 $N_d = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ （ホール効果による測定結果）とすることが可能であり、関連する厚さは、 $3.5 \mu\text{m}$ とすることが可能である。第2のサブ・レーヤ16Bは、良好なN接触順電圧、及び、電気抵抗特性が得られるように、多量のドーピングが施される。第2のサブ・レーヤ16Bのドーピング・レベルは、 $N_d = 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ （ホール効果による測定結果）とすることが可能であり、関連する厚さは、亀裂を回避するため、 $0.4 \mu\text{m}$ 以下に保つことが可能である。オプションの第3のサブ・レーヤ16Cは、デバイスの活性層18において最適なキャリア注入及び対再結合が得られるように、所望のレベルまでドーピングが施される。第3のサブ・レーヤ16Cのドーピング・レベルは、 $N_d = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ （ホール効果による測定結果）とすることが可能である。第3のサブ・レーヤによれば、青及び緑の発光ダイオード(LED)及びレーザ（エッジ発光レーザ及び垂直共振型面発光レーザ）のような二重ヘテロ構造発光デバイスにおいて、最適な電流注入及び再結合が得られるように別個にドーピング制御することが可能になる。

【0012】図2には、図1に示すデバイスに関するプロセス・フロー・チャート30が示されている。ステップ40において、バッファ層が、サファイア基板上に直接形成される。ステップ50において、 $300^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ の範囲の成長温度で、第1のNタイプ・デバイスサブ・レーヤが、バッファ層上に直接形成されるが、第1のサブ・レーヤの厚さは、 $1.0 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ の間で変動してもよい。ステップ60では、同等の成長温度で、第2のサブ・レーヤが、第1のサブ・レーヤ上に形成されるが、第2のサブ・レーヤの厚さは、一般に、 $0.05 \mu\text{m} \sim 1.0 \mu\text{m}$ であり、Nタイプのドーピング・レベルは、 $N_d = 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超え（ホール効果による測定結果）、ドーピング・レベルはデバイスの電気特性を最適化するように選択され、厚さは亀裂を回避するため十分に薄く保たれ、サブ・レーヤのドーピング量が増すほどサブ・レーヤは薄くなる。ステップ70において、オプションの第3のサブ・レーヤが、選択されたドーピング・レベル及び厚さになるように、第2のサブ・レーヤ上に形成される。ドーピング・レベル及び厚さは、電流注入及び光学再結合を改善するように選択される。ステップ80において、残りのデバイス層が、 $300^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ の範囲の成長温度で、複合デバイス層上に形成される。

【0013】サブ・レーヤは、OMVPE、（これはMOCVD（金属有機化学蒸着法）とも呼ばれる）、MBE（分子線エピタキシャル法）、GSMBE（ガスソー

スMBE)、または、HVPE(水素化物気相エピタキシャル法)といった多くの利用可能な技法の1つを利用して成長させることが可能である。 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ サブ・レーヤは、化学組成が同じ場合もあれば、同じではない場合もある(すなわち、同じ x 及び y 分子比)。サブ・レーヤの組成及び/またはドーピング・レベルは、サブ・レーヤ間において急激に変化する場合もあれば、代わりに、有限厚さにわたって穏やかに漸変する場合もあれば、サブ・レーヤの厚さ全体にわたって漸変する場合もある。

【0014】3つのサブ・レーヤを備えたNタイプの化合物層は、例示のように、デバイス層の亀裂を引き起こすことなく、N電気接触抵抗、順電圧、電流注入、及び、放射再結合を改善するが、各層の組成、厚さ、及び、ドーピング・レベルが、該デバイスにとって所望の電気特性または物理特性に適応するように、追加Nタイプサブ・レーヤを加えることも可能である。化合物構造は、さらに、半導体デバイスにおける他の多量にNドーピングを施された層またはPドーピングを施された層に順次生じる亀裂問題を軽減するように拡張することが可能である。

【0015】以上、本発明の実施例について詳述したが、以下、本発明の各実施態様の例を示す。

【0016】(実施態様1)以下(a)および(b)を含むことを特徴とするデバイス、(a)基板(12)と、(b)基板上に配置される $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ の化合物デバイス層(16)であって、該化合物デバイス層(16)は、第1と第2のサブ・レーヤ(16A、16B)を含んでおり、各サブ・レーヤは対応する物理的特性に合わせて選択された関連する組成、厚さ、及び、ドーピング・レベルを有しており、前記サブ・レーヤのそれぞれに関連した組成及び厚さは、材料の亀裂を最小限に抑えるように念入りに調整されていて、前記サブ・レーヤのドーピングが増すほど、対応する前記サブ・レーヤの厚さが薄くなる。

【0017】(実施態様2)さらに、前記基板と前記化合物デバイス層の間に介在するバッファ層(14)が含まれていることを特徴とする実施態様1に記載のデバイス。

【0018】(実施態様3)前記化合物デバイス層に、さらに関連するドーピング・レベルを備え、前記第2のサブ・レーヤの上に配置される第3のサブ・レーヤ(16C)が含まれていることと、前記第3のサブ・レーヤの前記関連するドーピング・レベルが、活性層において発光に最適なキャリア注入及び対再結合の物理特性をもたらすように選択されていることを特徴とする実施態様2に記載のデバイス。

【0019】(実施態様4)前記第1のサブ・レーヤ(16A)の前記関連ドーピング・レベルが、材料の良好な質という物理的特性をもたらすように選択され、前

記第2のサブ・レーヤの前記関連ドーピング・レベルが、低電気抵抗率及び低デバイス順電圧という物理的特性をもたらすように選択されることを特徴とする実施態様1に記載のデバイス。

【0020】(実施態様5)前記第2のサブ・レーヤ(16B)の前記関連ドーピング・レベルが、前記第1のサブ・レーヤの前記関連するドーピング・レベルに比べて、多量のドーピングが施されることを特徴とする実施態様4に記載のデバイス。

【0021】(実施態様6)前記化合物デバイス層(16)において、前記第1のサブ・レーヤから前記第2のサブ・レーヤへと漸変するドーピングが施されていることを特徴とする実施態様5に記載のデバイス。

【0022】(実施態様7)前記化合物デバイス層(16)の組成が、前記第1のサブ・レーヤから前記第2のサブ・レーヤへと漸変することを特徴とする実施態様6に記載のデバイス。

【0023】(実施態様8)前記化合物デバイス層(16)の組成が、前記第1のサブ・レーヤから前記第2のサブ・レーヤへと漸変することを特徴とする実施態様5に記載のデバイス。

【0024】(実施態様9)前記第1のサブ・レーヤと前記第2のサブ・レーヤの前記関連するドーピング・レベル比が、1~100、000の間であることを特徴とする実施態様5に記載のデバイス。

【0025】(実施態様10)前記化合物デバイス層(16)に、さらに、関連するドーピング・レベルを備え、前記第2のサブ・レーヤの上に配置される第3のサブ・レーヤ(16C)が含まれていることと、前記第3のサブ・レーヤの関連するドーピング・レベルが、活性層において発光に最適なキャリア注入及び対再結合の物理特性をもたらすように選択されていることを特徴とする実施態様4に記載のデバイス。

【0026】(実施態様11)前記化合物デバイス層(16)が、Pタイプの $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 材料から構成されることを特徴とする実施態様1に記載のデバイス。

【0027】(実施態様12)前記化合物デバイス層(16)が、Nタイプの $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 材料から構成されることを特徴とする実施態様1に記載のデバイス。

【0028】(実施態様13)前記第1のサブ・レーヤ(16A)の前記関連するドーピング・レベルが、材料の良好な質という物理的特性をもたらすように選択され、前記第2のサブ・レーヤの前記関連するドーピング・レベルが、低電気抵抗率及び低デバイス順電圧という物理的特性をもたらすように選択されることを特徴とする実施態様12に記載のデバイス。

【0029】(実施態様14)前記第2のサブ・レーヤ(16B)の前記関連するドーピング・レベルにおいて

は、前記第1のサブ・レーヤの前記関連するドーピング・レベルに比べて、多量のドーピングが施されることを特徴とする実施態様13に記載のデバイス。

【0030】(実施態様15) 前記化合物デバイス層に、前記第1のサブ・レーヤ(16A)から前記第2のサブ・レーヤ(16B)へと漸変するドーピングが施されていることを特徴とする実施態様14に記載のデバイス。

【0031】(実施態様16) 前記化合物デバイス層の組成が、前記第1のサブ・レーヤ(16A)から前記第2のサブ・レーヤ(16B)へと漸変することを特徴とする実施態様14に記載のデバイス。

【0032】(実施態様17) 前記第1のサブ・レーヤ(16A)と前記第2のサブ・レーヤ(16B)の前記関連するドーピング・レベル比が、1から100、000の間であることを特徴とする実施態様13に記載のデバイス。

【0033】(実施態様18) 前記化合物デバイス層(16)に、さらに、関連するドーピング・レベルを備え、前記第2のサブ・レーヤ(16B)の上に配置される第3のサブ・レーヤ(16C)が含まれていることと、前記第3のサブ・レーヤ(16C)の前記関連するドーピング・レベルが、活性層において発光に最適なキャリア注入及び対再結合の物理特性をもたらすように選択されていることを特徴とする実施態様13に記載のデバイス。

【0034】(実施態様19) 前記第2のサブ・レーヤ

(16B)の前記関連するドーピング・レベルにおいては、第1のサブ・レーヤ(16A)の前記関連するドーピング・レベルに比べて、多量のドーピングが施されることを特徴とする実施態様18に記載のデバイス。

【0035】(実施態様20) さらに、前記基板(12)と前記化合物デバイス層(16)の間に介在するバッファ層(14)が含まれていることを特徴とする実施態様19に記載のデバイス。

【0036】(実施態様21) 前記第1のサブ・レーヤ(16A)と前記第2のサブ・レーヤ(16B)の前記関連するドーピング・レベルの比が、1から100、000の間であることを特徴とする実施態様20に記載のデバイス。

【図面の簡単な説明】

【図1】 Nタイプ化合物層が最初に成長させられる本発明のデバイスを示す図である。

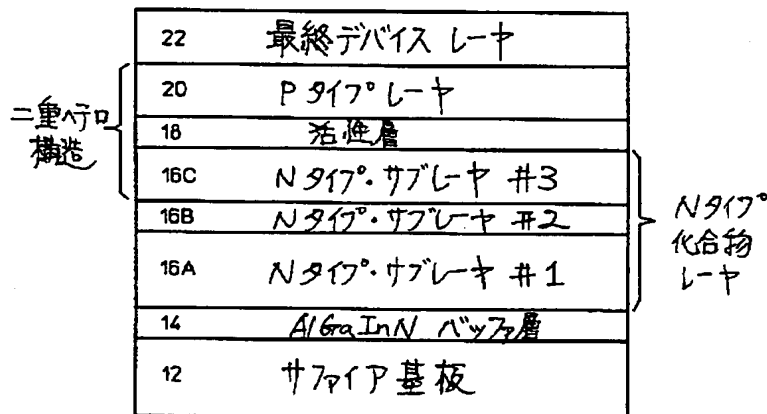
【図2】 図1に示すデバイスに関する製造プロセスのフローチャートである。

【符号の説明】

- 12: 基板
- 14: Nタイプ・バッファ層
- 16: 化合物デバイス層
- 16A: サブ・レーヤ
- 16B: サブ・レーヤ
- 16C: サブ・レーヤ
- 18: 活性層
- 20: Pタイプ化合物半導体層

【図1】

10



【図2】

